

COMPTE-RENDU SUR LES MANIPULATIONS DES EXPÉRIENCES DE COULABILITÉ D'ASSEMBLAGES BIDISPERSÉS DE BILLES

Jamshid Bahar

27 novembre 2006

Désirant publié un article sur la coulabilité d'ensembles de grains[1], il a été décidé d'effectuer davantage d'expériences physiques. En effet, nous avons déjà des données sur les ensembles monodisperses, mais aucun quant aux ensembles bidisperses. Ce travail a d'abord été confié à Stéphanie Hold. Ensuite, lorsqu'elle a dû commencer son travail de Masters, je me suis chargé de terminer ces expériences. Comme nous n'avons pas obtenu pas les même résultats, ce rapport interne décrit à la fois les expériences effectuée et les raisons éventuelles des écarts expérimentaux.

1 Set-Up

La description du set-up est extraite de l'article cossigné par L. Pournin, M. Ramaioli, P. Folly et Th. M. Liebling [1].

Description : The setup used is a plexiglas cylinder with interchangeable aluminum discs at the bottom that feature a circular hole in their centers. The inner diameter of the cylinder is 5 cm and the bottom discs have various diameters D for their central holes. The hole of the bottom disc can be obturated using an aluminum shutter as shown on the left side of Fig. 1. The experiment proceeds as follows : the beads are poured into the cylinder while the hole of the bottom disc is obturated by the shutter. The grains then pile up under the action of gravity and reach a mechanical equilibrium. Finally the shutter is suddenly pulled out and the medium either flows through the hole of the bottom disc or jams. For our experimental trials, we used steel beads of diameters 1.0 mm, 4.0 mm, 5.0 mm and 7.0 mm. All trials were carried out with as close as possible to 0.575 kg of those steel beads, resulting in a filling height of around 6.5 cm independently of the bead diameters.

N.B. Le diamètre des billes se rapporte aux expériences monodisperses. Dans nos expériences bidisperses nous nous sommes uniquement servis de billes de diamètre 4.0 mm et 7.0 mm. Pour simplifier, nous les appellerons simplement les petites et les grosses billes.

2 Protocole

1. Calculer le rapport en nombres de petites et grosses billes pour un diamètre moyen pondérée par la masse.
2. Prendre une quantité de billes telle qu'on ait une masse supérieure à 560 grammes et que la proportion de billes soit respectée.
3. Prendre des billes dans la proportion déterminée. On évite de prendre plus d'une vingtaine de billes à la fois. Les mettre dans un réceptacle, verser les billes dans la cuve. A chaque versement, changer l'endroit d'où l'on verse les billes d'un tiers de tour. Répéter jusqu'à avoir versé toutes les billes.
4. Une fois la cuve remplie, s'assurer que la cuve est bien verticale puis retirer le cache,

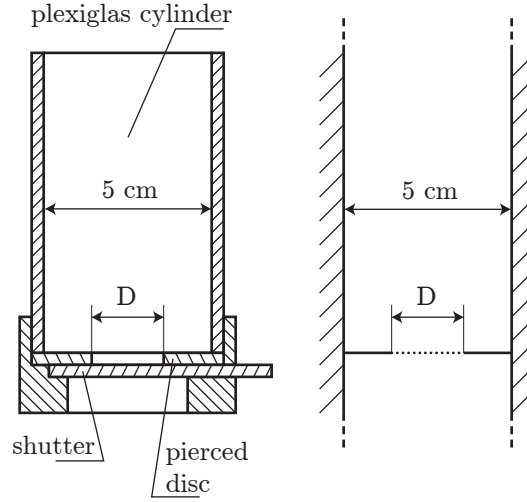


FIG. 1 – The experimental setup we use to perform flowability trials (left) and its numerical model (right). The combination of the shutter with the pierced disc is modeled by a circular hole (dotted line) that can either be opened or closed.

5. S'il y a des billes à la verticale du trou, noter qu'il y a eu blocage. Sinon noter soit écoulement, soit « arche écroulée ».
6. En cas de blocage, essayer aussi de compter le nombre de billes tombées.
7. Si nécessaire récupérer les billes égarées lors de la procédure ou les remplacer. En général, toutes les billes peuvent être retrouvées.

3 Résultats

On trouvera le résultats des expériences à la table 1. On remarque que la proportion de blocage baisse quand le diamètre du trou augmente ou que le diamètre moyen pondérée par la masse diminue. On note aussi des tendances différentes selon le manipulateur.

4 Trois causes possibles de la différence des resultats entre les manipulateurs

Comme la table 1 le montre, Stéphanie et moi ne trouvons souvent des proportions différentes. Hormis l'élément aléatoire, ceci peut s'expliquer par des manières différentes de procéder : La façon de compter les billes, celle de verser les billes et celle de retirer le cache.

4.1 contact avec les doigts

Quand on compte les billes, il y a contact avec les doigts du manipulateur. Même lorsque les doigts sont parfaitement propres, des substances se trouvent sur la peau. Celles-ci pourraient modifier le coefficient de friction coulombien des billes.

Stéphanie comptait et manipulait les petites et les grosses billes avec les doigt. Je faisais de même avec les grosses billes. Les petites billes étaient cependant comptées par le biais d'une feuille de papier. Celle-ci est pliée en deux et marquée de coches permettant de connaître le nombre de billes lorsque elles sont alignées dans le pli. La manipulation des petites billes se faisait au moyen d'un capuchon de plume. Cela va effectivement plus vite qu'en les ramassant avec les doigts.

TAB. 1 – Résultats
S=Stéphanie, J= Jamshid, $\bar{\Phi}$ = diamètre moyen des billes pondéré par la masse

$\bar{\Phi} = 5,0 \text{ mm}$	D = 16 mm			D = 17 mm			D = 18 mm		
Manipulateur	S			S			S		
# d'écoulements	1			7			7		
# de blocages	9			11			3		

$\bar{\Phi} = 5,4 \text{ mm}$	D = 17 mm			D = 18 mm			D = 19 mm		
Manipulateur	S			S	J	total	S	J	total
# d'écoulements	0			8	3	11	1	8	9
# de blocages	10			7	7	14	5	2	7

$\bar{\Phi} = 5,4 \text{ mm}$	D = 18 mm			D = 19 mm			D = 20 mm			D = 21 mm
Manipulateur	S	J	total	S	J	total	S	J	total	S
# d'écoulements	1	0	1	3	5	8	5	11	16	7
# de blocages	8	7	15	7	5	12	10	4	14	3

Ainsi les billes étaient plus en contact avec de la peau lors des manipulations de Stéphanie que lors des miennes. La viscosité du milieu s'en est peut-être trouvée affectée.

4.2 versement des billes

Dans le cahier d'expériences, Stéphanie note : « Couches beaucoup plus satisfaisantes depuis que je n'essaye pas de verser au milieu du tube. Les versements sont toujours faits en rotation de 1/3 tours. Mais si on laisse les billes atterrir plus près du bord opposé au côté de versement. Répartition est plus homogène. ». (observation sur l'essai 32).

On voit donc que la manière de verser les billes peut influencer l'homogénéité du milieu, et de là, le résultat. J'étais bien moins consciencieux que Stéphanie : versant parfois près du bord, vers le milieu ; parfois de sorte que les billes tombent vers le centre de la cuve, le bord proche ou le bord éloigné du point de versement. En général, j'ai utilisé la même approche lors de chaque expérience. Dans les expériences avec un diamètre moyen pondérée par la masse de 5,8 mm (les dernières), les versements ont été fait de la manière suivante : le réceptacle est collé au bord de la cuve, puis elle est rapidement incliné. Ainsi les billes ont une vitesse initiale suffisante pour atteindre au moins le centre de la cuve. Le point de versement a, quant à lui, été changé d'un tiers de tour à chaque expérience.

Il faut encore noter que les petites billes ont plus tendance à rebondir que les grosses. Ceci leur permet d'être mieux réparties. De plus, les petites billes tendent s'agglutiner sur le bord. Ceci est peut-être simplement dû à leur nombre supérieur ou à une cause géométrique.

4.3 retrait du cache

Le cache peut être retiré lentement où rapidement. Stéphanie dit le retirer d'un coup sec. Je l'ai aussi fait plutôt rapidement (moins d'une demi-seconde). Le retrait du cache pourrait donc être une des explications des résultats différents entre les résultats de Stéphanie et les miens.

Il n'y a cependant pas lieu de croire qu'une petite vitesse initiale puisse influencer la formation de l'arche. De plus, alors qu'une arche s'est formée, j'ai donnée des tapes semblables à ce qui pouvait se produire lors du retrait du cache. Les billes ne sont pas mises à couler. De même j'ai remis et retiré plusieurs fois le cache sans qu'il y ait d'effet. On peut donc raisonnablement supposer que la façon de retirer le cache a peu d'importance sur les résultats.

5 Différences avec les expériences numériques

Il y a au moins trois différences majeurs entre les expériences physiques et numériques. Le placement des billes, la présence d'un « creux » au fond de la cuve avant l'ouverture du diaphragme et le retrait instantané du diaphragme.

Au sujet du versement Stéphanie écrit : « regroupement des billes le long de la paroi dû à l'angle de versement -> solution possible : tourner de $1/3$ tour entre chaque versement et vérifier que le tube est verticale » (observation sur l'essai 2). De plus : « 1) Le versement des premières couches détruit la formation de la première couche qui n'est pas stable sur le fond « lisse ». 2) les couches suivantes sont plus homogènes » (observation sur l'essai 3). Il m'est également clair que la première couche subit des « conditions de bord » qui la distingue des couches suivantes. En bref, le milieu physique est probablement moins homogène que le numérique.

6 Observations et conclusion

Une manipulation prend un peu moins d'une heure. A un rythme effréné, une manipulation peut être faite en moins d'une demi-heure. Mais on ne peut pas s'attendre à pouvoir maintenir cette cadence, étant donné le caractère extrêmement lassant de ces manipulations. En conclusion, on peut considérer cette expérience comme satisfaisante. Si on cherchait à la répéter il serait toutefois indiqué de se concentrer sur un seul diamètre moyen et éventuellement un seul diamètre du trou. De cette manière, les résultats obtenus seraient plus fiables statistiquement.

Références

- [1] L. Pournin, M. Ramaioli, P. Folly et Th. M. Lieblich, *On the jamming behavior of bead assemblies*, pas encore publié ou envoyé à ce jour.